

Introduction

Afin d'améliorer la fiabilité des réseaux électriques, de nombreuses recherches sont axées sur les isolateurs de Haute Tension. Cet élément important dans la transmission d'énergie électrique qui reste cependant vulnérable à diverses conditions environnementales. En effet, les isolateurs de haute tension sont susceptibles à l'occurrence de contournement électrique sous pollution naturel, industrielle ou mixte. Pour examiner ce phénomène, de nombreux travaux ont été élaborés.

Dans cette partie, nous présentons les principales recherches et travaux récemment effectués dans le domaine du phénomène de contournement et du courant de fuite sur les isolateurs.

I.1. Prédiction de la tension de contournement par l'approche ANFIS

Afin de déterminer le comportement de contournement d'isolateurs Haute Tension pollués et d'identifier les mécanismes physique qui régissent ce phénomène, les chercheurs ont été amenés à établir une modélisation. Cette partie de notre travail décrit l'un des travaux de Sid Ahmed Bessedik [3] dans l'application de l'inférence neuro-floue adaptative système (ANFIS) pour estimer la tension critique de contournement pour les isolateurs pollués, en utilisant des mesures effectuées dans une station d'essai d'isolateur selon la norme CEI et un modèle mathématique en fonction des caractéristiques d'isolateur.

I.1.1. Mesures expérimentales et collecte de données

Les données concernant les isolateurs à capot et tige étaient utilisées pour la formation et les tests de l'ANFIS. Plus précisément, les caractéristiques géométriques suivantes ont été utilisées comme variables d'entrée: le diamètre maximal D_m (cm) de l'isolateur, sa hauteur H (cm), la ligne de fuite L (cm), son facteur de forme F et la conductivité de couche σ_s (μS), tandis que la sortie est la tension critique de contournement U_c (kV).

L'ensemble de données a été construit en utilisant des données acquises de l'expérience et l'application d'un modèle mathématique. En particulier, les expériences ont été réalisées dans une station d'essai installée dans le laboratoire d'essais de haute tension de la Société d'énergie publique, Centre de recherche et de normalisation d'Athènes selon la CEI 507:1991.

I.1.2. Modèle mathématique du processus du contournement

Un isolateur pollué est décrit par des équations analytiques publiées par divers chercheurs scientifiques tel que Boeme, Obenaus, Alston et Zoledziowski.

Ces procédures ont été utilisées pour la formulation d'un modèle mathématique permettant de déterminer des paramètres du contournement des isolateurs pollués.

Le modèle le plus connu [4][5] est constitué d'un arc partiel recouvrant une zone sèche en série avec la résistance de la couche polluée. Par conséquent, la tension aux bornes d'isolateur sera:

$$U = xAI^n + (L-x)r_p I \quad (I.1)$$

Où:

- xAI^n est la tension de l'arc

- $(L-x)r_p \cdot I$ est la tension de la couche polluée.

- x est la longueur de l'arc, L est la ligne de fuite de l'isolateur en cm

- r_p est la résistance par unité de longueur de la couche de pollution, I est le courant de fuite et A et n sont les constantes d'arc, Leurs valeurs $A = 124,8$; $n = 0,409$ ont été déterminés en utilisant une méthode d'optimisation complexe [6].

La résistance r_p peut être calculée par la formule:

$$\sigma_s = \frac{1}{r_p} F \quad (I.2)$$

Où F est le facteur de forme de l'isolateur donner l'équation suivante :

$$F = \int_0^L \frac{l}{\pi D(l)} dl \quad (I.3)$$

$D(l)$ est le diamètre de l'isolateur.

$$\sigma_s = (369.05.C + 0.42) \cdot 10^{-6} \quad (I.4)$$

La tension sous cette condition critique de rendement est donnée par :

$$U = xAI^n + (L-x)Kr_p I \quad (I.6)$$

$$K = 1 + \frac{L}{2\pi F(L-x_c)} \ln \left[\frac{L}{2\pi F \sqrt{\frac{(\pi D_m \sigma_s A)^{\frac{1}{n+1}}}{1.45\pi}}} \right] \quad (I.7)$$

$$x_c = \frac{1}{n+1} L \quad (\text{I.8})$$

$$I_c = (\pi D_m \sigma_s A)^{\frac{1}{n+1}} \quad (\text{I.9})$$

$$U_c = \frac{A}{n+1} (L + \pi D_m F K n) (\pi D_m \sigma_s A x)^{\frac{-n}{n+1}} \quad (\text{I.10})$$

I.1.3. Système d'inférence neuro-flou adaptatif

La combinaison de la logique floue avec la conception architecturale du réseau de neurones conduit à la création de systèmes neuro-flous qui bénéficient de calcul avancé de la sortie et de capacité de rétro propagation d'apprentissage des réseaux neuronaux, tout en gardant l'inter-prétabilité d'un système flou. Le Takagi-Sugeno-Kang (TSK) est un système flou avec des fonctions nettes par conséquent qui est perçu comme approprié pour des applications complexes.

I.1.4. Architecture de l'ANFIS

Pour présenter l'architecture ANFIS, deux règles basées sur un modèle flou de premier ordre de Sugeno sont si-alors pris en considération:

Règle 1: Si (x est A1) et (y est B1), alors (f1 = p1x + q1y + r1)

Règle 2: Si (x est A2) et (y est B2), alors (f2 = p2x + q2y + r2)

Où x et y montrent les entrées et sorties du système ANFIS, Ai et Bi montrent les ensembles flous originaux. L'ANFIS comprend 5 couches (figure I.1).

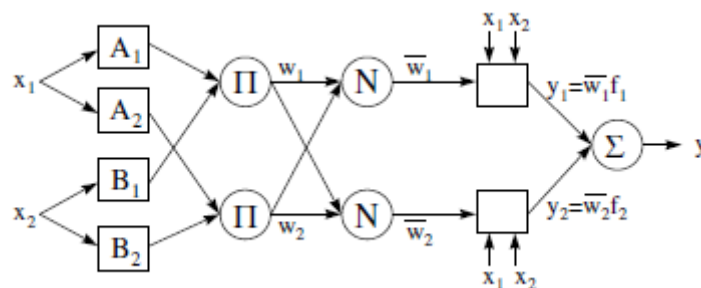


Figure I.1. Architecture typique d'ANFIS [3]

I.1.5. Algorithme d'apprentissage

Les paramètres des fonctions d'appartenance de l'ANFIS ont été ajustés en combinant l'algorithme d'apprentissage retro propagation avec l'algorithme de moindre carré support vecteur machine qui est illustré par le tableau suivant.

Tableau I.1. Procédure d'apprentissage hybride en deux passages de l'ANFIS [3]

	Passage vers l'avant	Passage en arrière
Paramètre de fonction d'appartenance	fixe	Retro propagation
Paramètre de coefficient	Moindre carrés	fixe

I.1.6. Estimation de la tension critique de contournement à l'aide d'ANFIS

L'ANFIS développé est appliqué pour l'estimation de la tension de contournement des isolateurs pollués. Les données du modèle mathématique et un ensemble de données expérimentales utilisées pour former le modèle de l'ANFIS, tandis que le reste des données expérimentales a été utilisé pour tester sa performance. L'ensemble d'entraînement comprend 144 modèles / vecteurs (dont 140 vecteurs sont dérivés du modèle et 4 vecteurs sont des valeurs réelles), et le modèle ANFIS est testé en utilisant 24 modèles (données expérimentales).

I.1.7. Résultats et discussion

Les résultats obtenus par l'approche ANFIS pour la prédiction de la tension critique de contournement ont été résumés dans le tableau I.2. Selon ce dernier, la fonction d'appartenance de type triangulaire (*trimf*) représente la fonction appropriée qu'on peut adopter pour estimer la tension de contournement, car elle donne la plus faible valeur d'erreur MAPE (3,9789 %) est la plus haute valeur du coefficient de détermination R^2 (0,9843) pendant le processus de test.

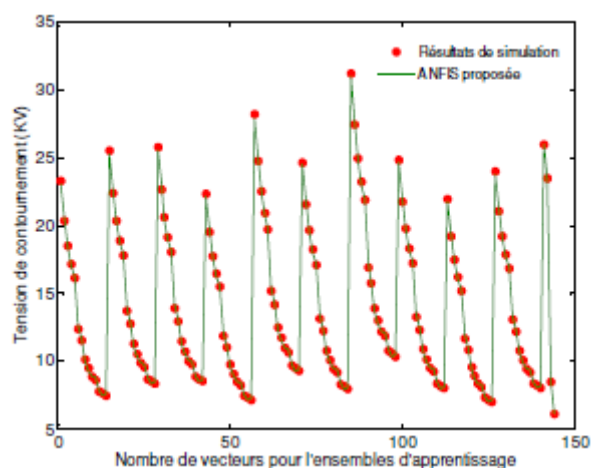
Tableau I.2. Indices statistiques pour l'évaluation de la performance de l'approche ANFIS [3]

Type of mf	No of MF	Step-size	Data normalized	No Epoch	RMSE _{tr}	RMSE _{test}	R ² _{tr}	R ² _{test}	MAPE _{tr}	MAPE _{test}
gbellmf	2	0.05/0.6/1.6	No	300	0.0319	0.7429	1.0000	0.9727	0.2023	4.8474
	2	0.001/0.2/1.6	Yas	300	0.0045	0.0258	0.9996	0.9792	1.1716	21.2116
	3	0.05/0.6/1.6	No	30	0.0340	3.8157	1.0000	0.3656	0.2072	16.9346
	3	0.05/0.6/1.6	Yas	30	0.0297	0.0988	0.9836	0.7131	6.6400	42.9010
Gaussmf	2	0.05/0.6/1.6	No	300	0.1339	0.8566	0.9995	0.9638	0.8296	5.8731
	2	0.001/0.9/1.1	Yas	300	0.0115	0.0295	0.9975	0.9729	5.1022	29.2391
	3	0.05/0.6/1.6	No	30	0.1002	4.0142	0.9997	0.3223	0.5748	15.4005
	3	0.01/0.9/1.1	Yas	30	0.0115	0.0875	0.9975	0.7722	3.6811	39.3295
trimf	2	0.05/0.6/1.6	No	300	0.2426	0.5641	0.9983	0.9843	1.6915	3.9789
	2	0.001/0.9/1.1	Yas	300	0.0214	0.0522	0.9914	0.9153	6.8294	28.3971
	3	0.05/0.6/1.6	No	30	0.0655	1.4512	0.9999	0.8982	0.3775	7.3165
	3	0.001/0.9/1.1	Yas	30	0.0125	0.0426	0.9971	0.9437	4.9279	58.7402
trapmf	2	0.05/0.6/1.6	No	63	0.5447	1.0781	0.9912	0.9439	3.5478	7.3286
	2	0.0009/0.9/1.1	Yas	300	0.0106	0.0394	0.9979	0.9524	5.0512	27.2888
	3	0.001/0.6/1.6	No	30	0.4000	4.5075	0.9953	0.2163	2.0979	21.3876
	3	0.001/0.9/1.1	Yas	30	0.0097	0.0439	0.9983	0.9415	2.7408	23.0487

Le résultat du processus d'apprentissage de l'approche ANFIS est présenté sur la figure I.2, ainsi que la comparaison entre les valeurs prédites de la tension de contournement et celles de test pour évaluer la performance de l'approche est illustrée à la figure I.3.

La figure I.4 donne la corrélation entre les valeurs estimées et réelles de la tension critique de contournement pour l'ensemble de tests.

Ces résultats ont été réalisés dans les conditions suivantes: les données ne sont pas normalisées, le pas initial égale à 0,05, le taux de décroissement et le taux d'accroissement sont respectivement 0,6 et 1,6, le nombre maximal d'itérations est 5851, le mode d'apprentissage est hybride, la fonction d'appartenance de sortie est linéaire.

**Figure I.2.** Performance de l'approche ANFIS proposée pour l'apprentissage [3]

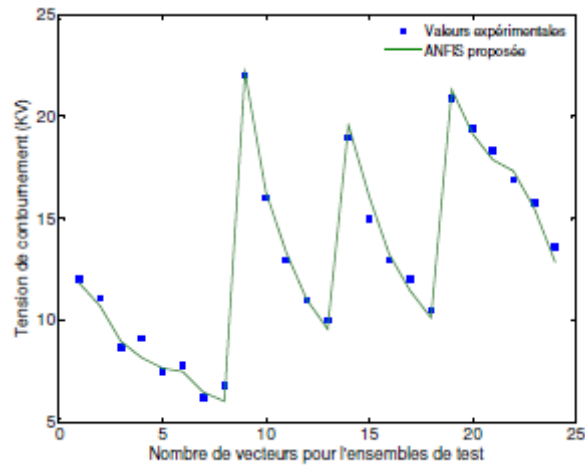


Figure I.3. Performance de l'approche ANFIS proposée pour le test [3]

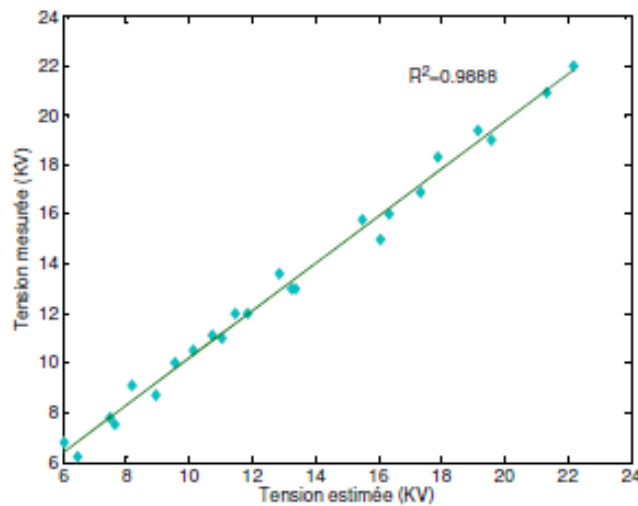


Figure I.4. Corrélation entre les valeurs mesurées et estimées de la tension critique[3]

Afin d'obtenir une bonne performance pour l'ANFIS, tous les ensembles de données utilisés pour les étapes d'entraînement et de test étaient sélectionnés de manière aléatoire, le modèle ANFIS était construit dans MATLAB et a été formé avec plusieurs fonctions de formation MATLAB.

Ainsi l'auteur a pu conclure que les résultats obtenus par l'approche ANFIS sont prometteurs et il assure que cette technique peut estimer la tension critique de contournement et constitue un modèle indispensable qui peut être utilisé dans des simulations de terrain de divers paramètres pour des isolateurs pollués. L'ANFIS pourrait également être appliquée dans différents types d'isolateurs avec une plus grande précision que le modèle mathématique en changeant l'ensemble des données.

I.2. Modélisation expérimentale du contournement d'un isolateur pollué en présence d'une plaque métallique en utilisant la technique " MPE".

Le contournement d'isolateurs pollués a fait l'objet de nombreux travaux de recherche expérimentale et numérique. Cependant, il existe très peu de documents publiés sur l'élongation de la décharge en présence d'un objet métallique entre les électrodes.

Les auteurs M. Bouhmama, S. Flazi, S. Nemnich et A. Tilmatine [7] avaient pour but de modéliser la tension de contournement en présence d'une plaque métallique immergée dans l'électrolyte ou placée sur sa surface ainsi deux modèles mathématiques ont été obtenus en utilisant la méthodologie des plans d'expériences " MPE " et ils ont été utilisés dans l'analyse de l'effet des facteurs géométriques sur le contournement.

I.2.1. Dispositif Expérimental

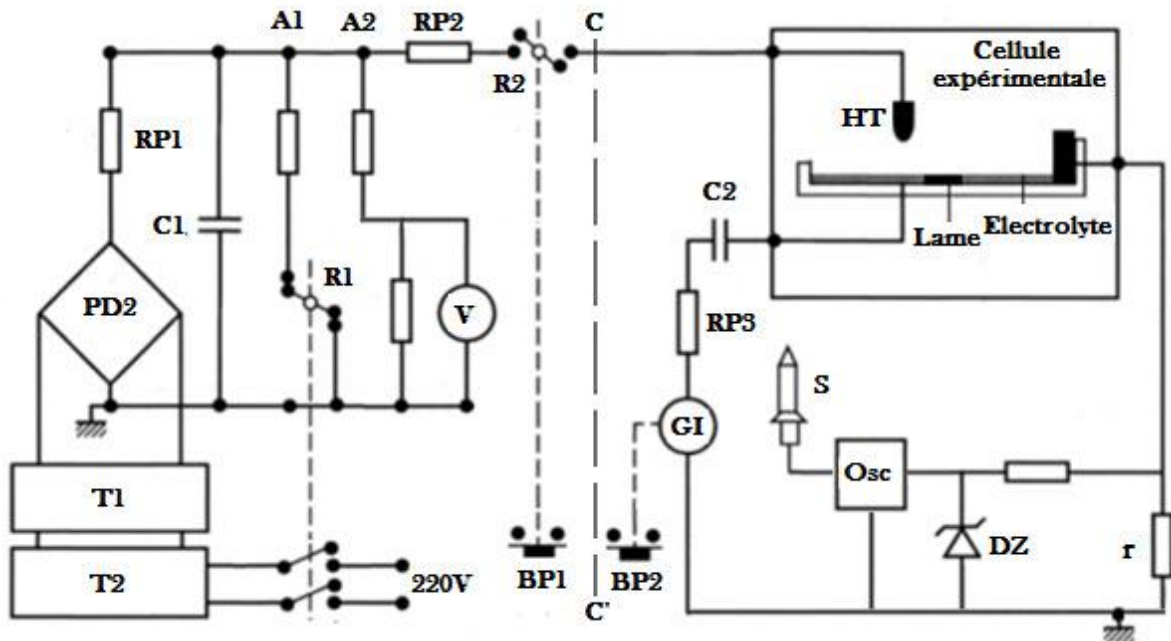


Figure I.5. Schéma du montage expérimental [7]

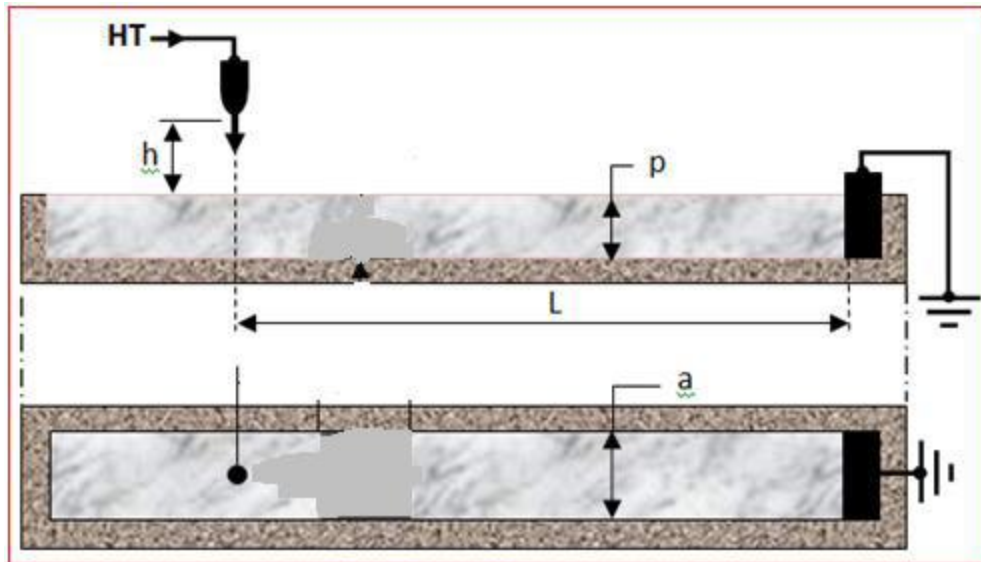


Figure I.6. Cellule expérimentale de contournement d'isolateur.[7]

Le montage expérimental est principalement constitué de :

- Une alimentation HT délivrant une tension continue variable de 30 kV sous 2 A. Cette dernière est obtenue à l'aide d'une batterie de condensateur HT de capacité totale $C=16.7\mu\text{F}$, chargée à la tension désirée par un pont redresseur à diodes alimenté par un autotransformateur à travers un transformateur élévateur.
- Un banc de mesures électrique Tektronix, constitué d'un oscilloscope à mémoire et d'une sonde Haute Tension de type P 6015 100X-3pF 1000M Ω - 20kV/DC, avec un rapport de division 1/100 et une impédance d'entrée de 100M Ω .

Une cellule expérimentale modélisant l'isolateur. En plexiglas et de forme rectangulaire se présente en forme de rainure creuse, remplie d'électrolyte à base de chlorure de sodium ($\text{Na Cl} + \text{H}_2\text{O}$) avec l'une de ses deux extrémités reliée à l'électrode de masse.

L'électrode active HT surplombant l'électrolyte à une hauteur h égale à 0.3cm, elle est distante de 8 cm de l'électrode de masse.

Les expériences ont été réalisées sur un modèle d'Obenaus en utilisant plusieurs cellules d'expériences de différentes dimensions géométriques, ayant la même longueur constante $L = 8$ cm, mais différentes valeurs de largeur a , profondeur p et épaisseur de la plaque e . Après chaque test effectué, une nouvelle solution électrolytique est remplacée et les condensateurs sont chargés à nouveau à une tension $V = V_d$. La tension critique de contournement correspond à la tension V_c mesurée qui correspond à la plus petite valeur de la tension V_d provoquant le contournement. De plus, une plaque métallique de largeur a et de longueur constante $l = 1$ cm, mais avec une épaisseur variable e , est placée sur le chemin de décharge entre les deux électrodes.

Le travail était lié à l'analyse de trois facteurs:

Largeur a (cm), profondeur du canal p (cm) et résistance par unité de longueur r ($k\Omega / \text{cm}$). La résistance r a été considérée avec les facteurs géométriques, car sa valeur change avec les dimensions de la cellule.

Trois "expériences un facteur à la fois", suivies par deux conceptions composites (sans et avec plaque), ont été réalisées en suivant la procédure expérimentale suivante:

1) Fixer le domaine de variation des facteurs; 2) modélisation étape: recherche du point optimal correspondant à la valeur la plus faible de V_c ; et 3) analyser l'influence des facteurs.

I.2.2. Outils utilisés pour la modélisation

La conception utilisée pour modéliser ce système est le CCF (Composed Centred Faces) qui donne des modèles quadratiques. Le logiciel MODDE 5.0 (U metrics AB, Umea, Suède) qui était utilisé, est un programme Windows pour la création et l'évaluation de modèles expérimentaux.

I.2.3. Conception d'expériences de contournement

I.2.3.1. Domaine de variation des facteurs

Les résultats obtenus concernant la variation des trois facteurs pour la modélisation sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau I.3. Valeurs obtenues de V_c en fonction de la largeur a , de la profondeur p et de la résistance r . [7]

Exp. N°	a , cm	P , cm	r , $k\Omega/\text{cm}$	V_{c0} , kV
1	2	0.3	2.5	9.0
2	4	0.3	2.5	10.5
3	2	0.6	2.5	10.0
4	4	0.6	2.5	11.5
5	2	0.3	5.0	10.0
6	4	0.3	5.0	11.5
7	2	0.6	5.0	11.5
8	4	0.6	5.0	12.5
9	2	0.45	3.75	10.0
10	4	0.45	3.75	11.5
11	3	0.3	3.75	10.5
12	3	0.6	3.75	11.5
13	3	0.45	2.5	10.0
14	3	0.45	5.0	11.5
15	3	0.45	3.75	11.0
16	3	0.45	3.75	11.0
17	3	0.45	3.75	10.8

Tableau I.4. Résultats obtenus de la conception CCF sans plaque métallique[7]

Exp. N°	a, cm	P, cm	r, kΩ/cm	V _{c0} , kV
1	2	0.3	2.5	9.0
2	4	0.3	2.5	10.5
3	2	0.6	2.5	10.0
4	4	0.6	2.5	11.5
5	2	0.3	5.0	10.0
6	4	0.3	5.0	11.5
7	2	0.6	5.0	11.5
8	4	0.6	5.0	12.5
9	2	0.45	3.75	10.0
10	4	0.45	3.75	11.5
11	3	0.3	3.75	10.5
12	3	0.6	3.75	11.5
13	3	0.45	2.5	10.0
14	3	0.45	5.0	11.5
15	3	0.45	3.75	11.0
16	3	0.45	3.75	11.0
17	3	0.45	3.75	10.8

I.2.3.2. Modélisation de la tension de contournement

Les résultats obtenus de la tension V_{c0} (sans plaque) et V_{c1} (avec plaque) sont données dans les tableaux I.4 et I.5 respectivement. Dans la configuration avec plaque métallique (tableau I.5), un quatrième facteur a été considéré qui est l'épaisseur e de la plaque.

Tableau I.5. Résultats obtenus de la conception CCF avec plaque métallique.[7]

Exp. N°	a, cm	P, cm	r, kΩ/cm	e, cm	V _{c1} , kV
1	2	0.3	2.5	0.15	16.5
2	4	0.3	2.5	0.15	13.5
3	2	0.6	2.5	0.15	18
4	4	0.6	2.5	0.15	15
5	2	0.3	2.5	0.3	19
6	4	0.3	2.5	0.3	16
7	2	0.6	2.5	0.3	21
8	4	0.6	2.5	0.3	18
9	2	0.3	5	0.15	19
10	4	0.3	5	0.15	17.5
11	2	0.6	5	0.15	20
12	4	0.6	5	0.15	18
13	2	0.3	5	0.3	19
14	4	0.3	5	0.3	18.5
15	2	0.6	5	0.3	23
16	4	0.6	5	0.3	21.5
17	2	0.45	3.75	0.225	18
18	4	0.45	3.75	0.225	17
19	3	0.3	3.75	0.225	14
20	3	0.6	3.75	0.225	19
21	3	0.45	3.75	0.15	17
22	3	0.45	3.75	0.3	21
23	3	0.45	2.5	0.225	17
24	3	0.45	5	0.225	19
25	3	0.45	3.75	0.225	17.8
26	3	0.45	3.75	0.225	18
27	3	0.45	3.75	0.225	18.2

Selon l'hypothèse de Flazi, la propagation est provoquée dans ce cas par l'ionisation de l'air ce qui arrive non seulement près de la région du pied de la décharge, mais autour de l'ensemble du

corps de la décharge (Fig I.6). Ceci est causé par les lignes de champ, qui deviennent des lignes de courant après ionisation.

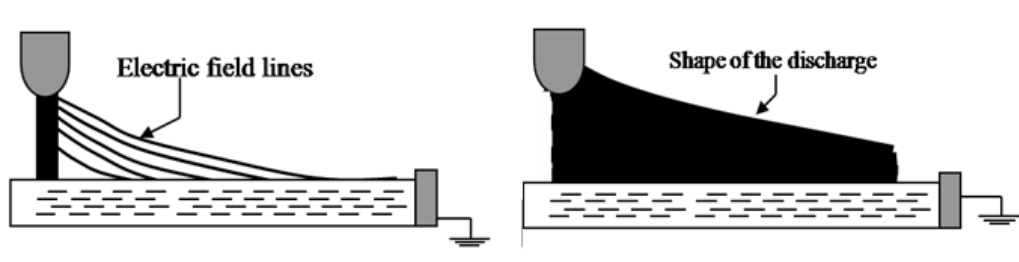


Figure I.7. Evolution de la décharge selon l'hypothèse de Flazi [7]

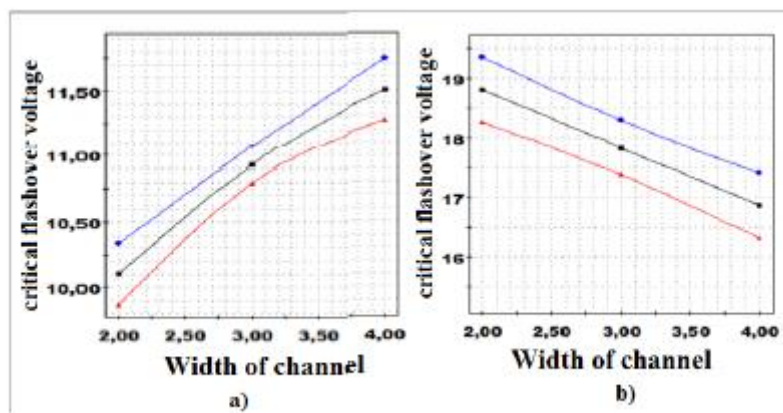
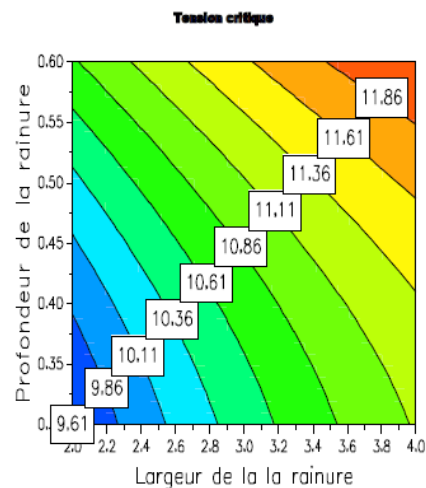


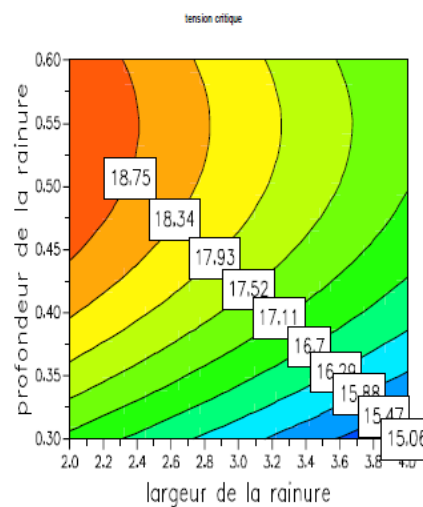
Figure I.8. Tracés prédictifs de la tension en termes de largeur de canal a) sans plaque métallique b) avec plaque métallique. [7]

D'après l'hypothèse de Flazi, pendant le contournement, le potentiel mesuré à la surface de l'électrolyte augmente progressivement pendant la propagation de la décharge. En présence de la plaque métallique, qui représente une surface équipotentielle, le potentiel sur la plaque reste constant, ce qui entraîne l'augmentation de la tension de contournement. Le resserrement des lignes de courant à la surface de la couche de l'électrolyte, résultant en petites valeurs de a , est plus important en présence de la plaque métallique, provoquant ainsi l'augmentation de la tension critique.

Les contours d'iso-réponse représentés sur la figure I.7, montrent l'influence de la largeur a et de la profondeur p sur la tension de contournement, montrent aussi qu'en présence de la plaque, l'effet de la profondeur de canal est plus grande que dans le cas sans plaque.



(a)



(b)

Figure I.9. Contours d'iso-réponse tracés avec le MODDE.05 a) Sans plaque métallique b) avec plaque métallique.[7]

D'après ces différentes analyses les auteurs ont pu conclure que la tension d'amorçage en présence de la plaque est beaucoup plus élevée, car la distribution des lignes de champ autour de la décharge est modifiée en raison du fait que le potentiel de la surface de la plaque métallique reste invariable.

I.3. Analyse quantitative de récurrence de courant de fuite pour la classification d'isolateur HT selon la sévérité de pollution.

Pour examiner le phénomène de contournement par la surveillance du courant de fuite If dans diverses conditions environnementales les chercheurs A. K. Chaou, A. Mekhaldi et M. Teguar [8] se sont dirigé vers la technique RQA (Analyse Quantitative de Récurrence). La RQA est non seulement capable d'indiquer la structure RP mais aussi de quantifier la dynamique de If pendant le processus de contamination.

I.3.1. Dispositif Expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est représenté par la figure I.8

Le modèle d'essai est une plaque de verre (500 mm x 500 mm x 5 mm).

Deux électrodes rectangulaires en aluminium (500 mm x 30 mm x 0,003 mm) ont été fixés à la fois sur les deux côtés. La distance inter-électrodes représente la ligne de fuite de l'isolateur à capot et tige 1512 L (292 mm).

La pollution artificielle est appliquée en pulvérisant le modèle par une solution saline (NaCl mélangé avec l'eau distillée), la méthode de pulvérisation de model plan d'isolateur est illustrée par la figure I.9.

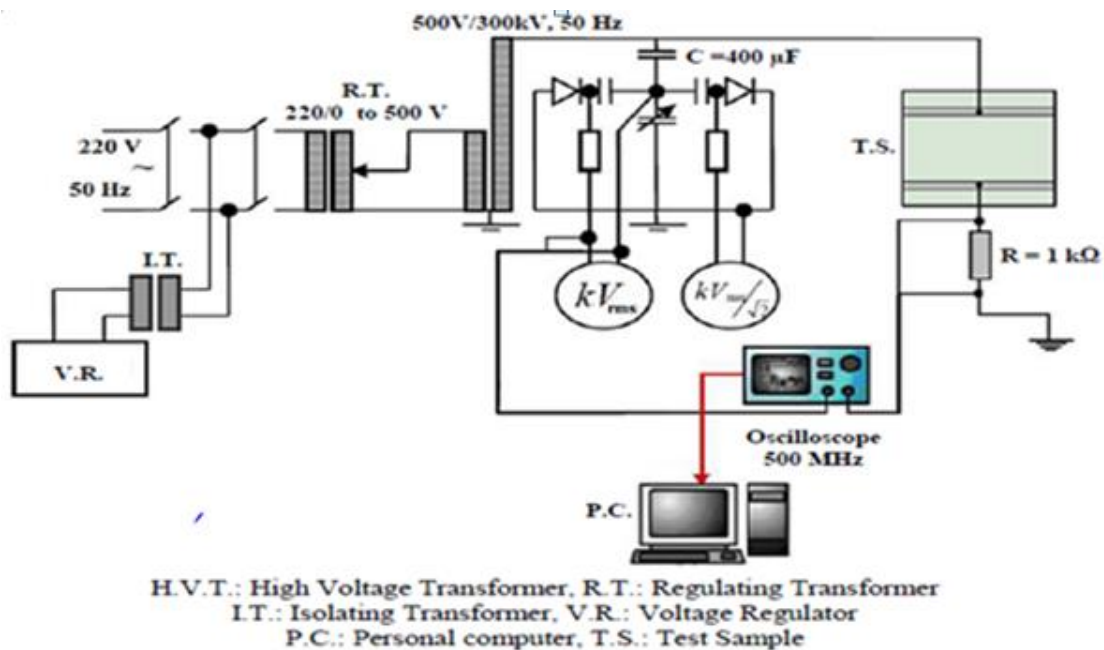


Figure I.10. Dispositif expérimental 8]

I.3.2. Contexte théorique

I.3.2.1. Analyse de quantification de récurrence (RQA)

La RQA est une méthode d'analyse de données non linéaire pour l'investigation de systèmes dynamiques. Cette méthode vise non seulement à quantifier différentes structures apparaissant en RP à travers des indicateurs, mais aussi étudier le décalage de la dynamique d'un signal donné.

1. Taux de récurrence (RR). Le RR compte le nombre de points noirs dans le RP. Il correspond à la probabilité qu'un état se répète et peut être utilisé pour détecter les changements dans la dynamique du système. Il est défini comme suit :

$$RR(\varepsilon) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j}^N R_{i,j}(\varepsilon) \quad (I.11)$$

2. Déterminisme (DET). Il renseigne sur la prédictibilité du processus étudié et représente le rapport entre le nombre de points récurrents formant les diagonales (au moins de longueur l_{\min}) et le nombre totale de tous les points récurrents. Les signaux non corrélés, ou faiblement corrélés, apparaissent sous formes de courtes diagonales sur les RP. Les signaux déterministes impliquent des diagonales plus longues, ainsi que des points récurrents isolées.

$$DET = \frac{\sum_{l=l_{\min}}^N lP(l)}{\sum_{l=1}^N lP(l)} \quad (I.12)$$

3. Laminarité (LAM). Par analogie, le LAM représente la quantité de points récurrents obtenus à partir des lignes verticales, il est donné par l'expression suivante :

$$LAM = \frac{\sum_{v=v_{\min}}^N vP(v)}{\sum_{v=1}^N vP(v)} \quad (I.13)$$

Où $P(v)$ est le nombre de lignes verticales de longueurs v ayant au moins une longueur de v_{\min} .

4. Longueur maximale des lignes diagonales (L_{\max}). L définit la moyenne temporelle pendant laquelle deux segments de trajectoire sont proches l'une de l'autre, et peut être interprétée comme la moyenne temporelle de prédiction.

$$L = \frac{\sum_{l=l_{\min}}^N lP(l)}{\sum_{l=l_{\min}}^N P(l)} \quad (I.14)$$

Au lieu de cette moyenne, la RQA utilise la « longueur maximale » des lignes diagonales, ou son inverse, la « divergence », définie comme suit :

$$l_{\max} = \max(\{l_i; i = 1 \dots N_1\}) \quad (I.15)$$

$$DIV = \frac{1}{L_{\max}} \quad (I.16)$$

Pour des systèmes déterministes, de longues diagonales sont produites, alors que pour des données aléatoires ou fortement fluctuantes, de courtes diagonales en sont le résultat.

5. Recurrence Time Entropy (RTE). Le RTE sert à déterminer la périodicité ou la répétitivité d'un signal. Il peut être appliqué aux systèmes dynamiques, ainsi qu'aux processus stochastiques. Il se calcule via l'expression

$$RTE = -(\ln T_{\max})^{-1} \sum_{t=1}^{T_{\max}} p(t) \cdot \ln p(t) \quad (I.17)$$

Où T_{\max} est la plus grande période du signal. Le RTE est très utilisé pour détecter les changements subtils dans les dynamiques des signaux stochastiques.

6. Trapping Time (TT). Il représente la valeur moyenne temporelle qu'un système se répète sur un seul et même état. Il est défini par l'expression (I.32) :

$$TT = \frac{\sum_{v=v_{\min}}^N v P(v)}{\sum_{v=v_{\min}}^N P(v)} \quad (I.18)$$

Où $P(v)$ est le nombre de lignes diagonales de longueur TT estime la moyenne temporelle où le système demeure dans un même état.

7. La longueur maximale des lignes (v_{\max}) est analogue à l'indicateur standard

$$v_{\max} = \max(\{v_l\}_{l=1}^{N_v}) \quad (I.19)$$

8. Entropie (ENTR). L'entropie fait référence à l'entropie de Shannon de la distribution des lignes diagonales du RP : elle reflète la complexité de la structure du RP par rapport aux lignes diagonales. Pour des signaux faiblement corrélés, la valeur ENTR est faible, indiquant ainsi une faible complexité.

$$ENTR = -\sum_{l=l_{\min}}^N p(l) \cdot \ln p(l) \quad (I.20)$$

Où $P(l)$ représente la probabilité que la ligne diagonale ait exactement la longueur 2, et peut être estimée à partir de la distribution de fréquence $P(l)$, avec :

$$p(l) = \frac{p(l)}{\sum_{l=l_{\min}}^N P(l)} \quad (I.21)$$

I.3.2.2. Méthodes de classification

Trois techniques de classification les plus couramment utilisées sont: le classificateur de k-plus proches voisins (Knn), le classificateur bayésien naïf et le vecteur de support Machine (SVM).

I.3.3. Résultats RQA

L'analyse quantitative de récurrence de courant de fuite est illustrée par la figure I.11.

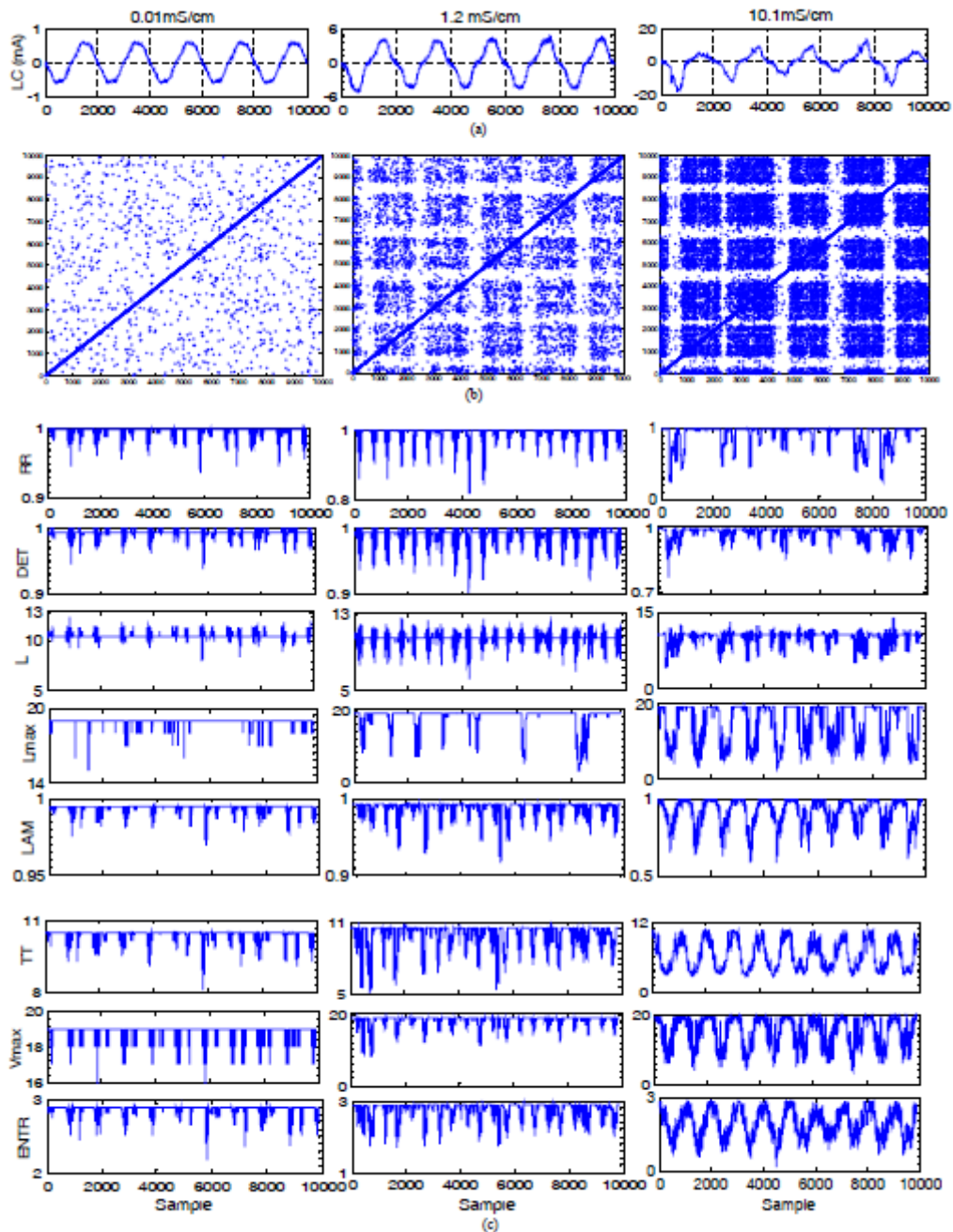


Figure I.11. RQA pour le courant de fuite sous pollution, (a) LC forme d'onde pour varier la conductivité, (b) représentation RP, (c) RQA indicateur de forme d'onde. [8]

Les valeurs RQA résultent de la pollution qui provoque des distorsions et des impulsions sur les formes d'onde du courant de fuite, en particulier près des régions de pointe. Par conséquent, les valeurs RQA sont composées de petites amplitudes et de pics serrés pour conductivité polluante inférieure à 1,2 mS / cm. Cependant, pour 10,1 mS / cm, les valeurs RQA

contiennent une grande amplitude et pics. Cette variation quantifie et décrit la dynamique du courant de fuite sous la pollution.

I.3.4. Extraction des caractéristiques du RQA

En effet, pour étudier la corrélation entre les indicateurs RQA et le niveau de pollution, ils présentent les valeurs moyennes des indicateurs RQA deux à deux, pour différents niveaux de pollution, sur deux espaces dimensionnels.

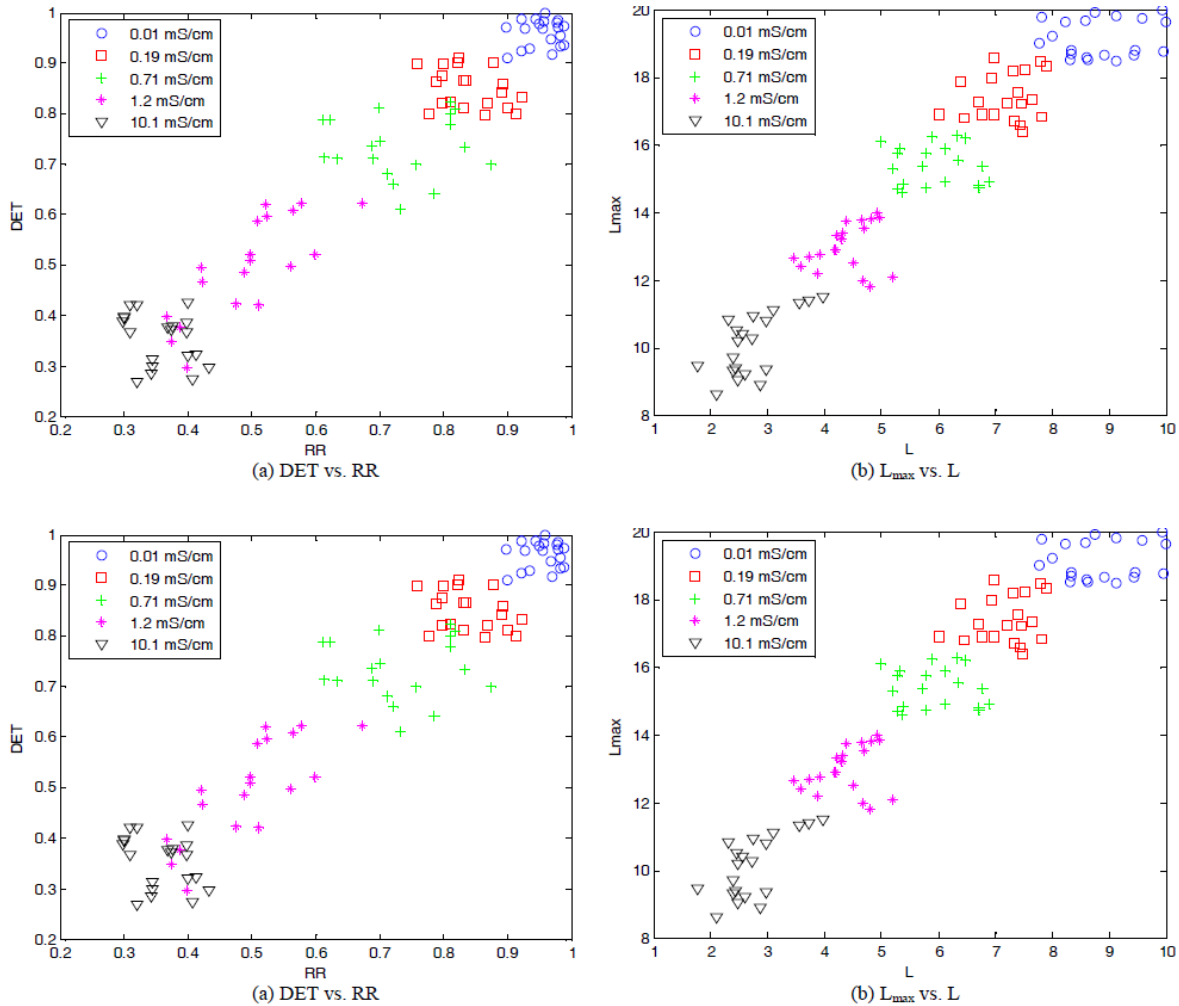


Figure I.12. Indicateur RQA signifiant des valeurs pour divers niveaux de gravité de pollution [8]

Les valeurs moyennes des huit indicateurs diminuent avec l'augmentation de la conductivité.

Ces tracés des indicateurs prouvent la capacité de RQA à discerner entre les niveaux de sévérité de la pollution. En effet, pour une conductivité donnée de la pollution, les valeurs des indicateurs RQA sont situées dans un intervalle spécifié. Par conséquent, RQA est choisi comme technique d'extraction de caractéristiques pour déterminer et classer la sévérité de la pollution basée sur l'analyse du courant de fuite. Par conséquent, les indicateurs RQA sont choisies comme

entrées pour les méthodes de classification, tandis que la sortie est la valeur de la conductivité de la pollution.

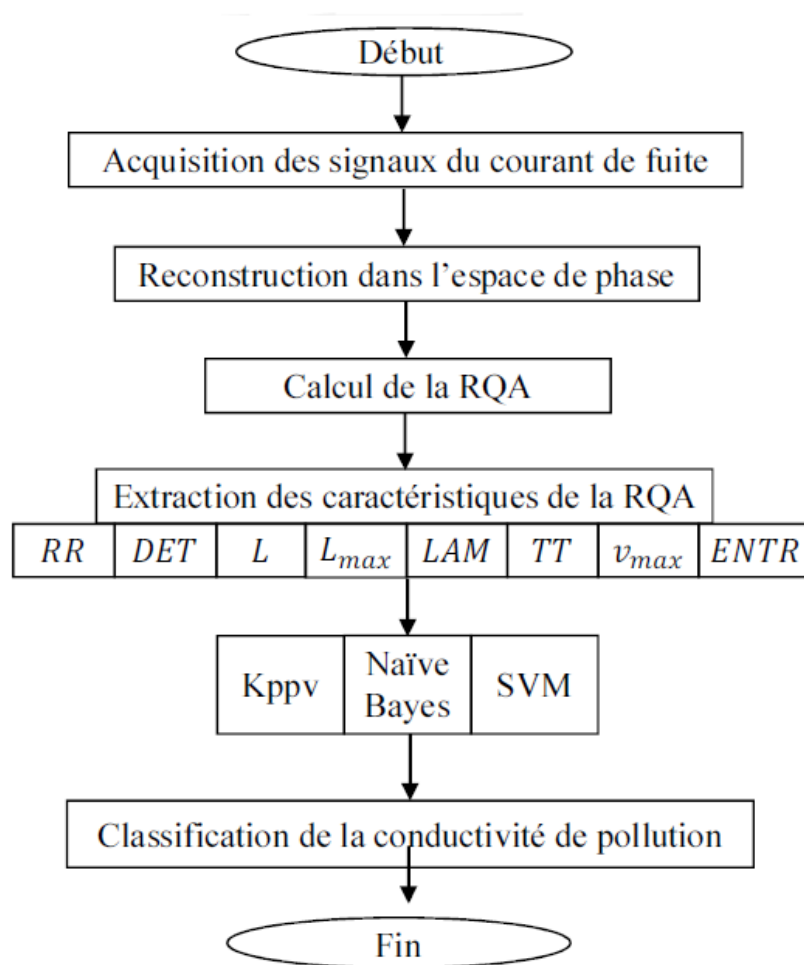


Figure I.13. L'organigramme de l'algorithme proposé à base de RQA [8]

En fin, A. K. Chaou, A. Mekhaldi and M. Teguar ont affirmé que :

Afin de surveiller les performances de l'isolateur et de construire un outil de diagnostic de la sévérité de pollution, un traitement des signaux du courant de fuite par RQA a été établis montrant une efficacité incontestable pour l'analyse dynamique du signal, huit RQA indicateurs de LC sont calculés et examinés pour divers les niveaux de pollution. Ces indicateurs se caractérisent très bien le comportement du signal du courant de fuite.

Tableau I.6. Résultats de la classification.[8]

Echantillon	RR	DET	L	Lmax	LAM	TT	Vmax	ENTR	Conductivité de pollution (mS/cm)	Classe assignée	Classe obtenue		
											Kppv	Naïve Bayes	SVM
1	0,877	0,899	9,410	17,55	1,740	0,743	9,407	16,428	10,1	5	5	5	5
2	0,749	0,942	3,799	11,28	0,631	0,665	9,281	17,128	10,1	5	5	5	5
3	0,89	0,989	9,974	18,40	2,221	0,897	10,73	18,634	1,2	4	4	4	4
4	0,875	0,995	9,937	17,38	3,933	0,898	9,676	16,412	1,2	4	4	3*	4
5	0,954	0,992	4,724	12,48	1,766	0,900	10,046	17,033	0,710	3	3	3	3
6	0,718	0,853	2,344	3,852	0,636	0,540	10,546	14,389	0,710	3	3	4*	3
7	0,954	0,992	5,219	12,98	2,061	0,900	10,341	17,228	0,190	2	2	2	2
8	0,718	0,853	2,839	4,347	0,931	0,541	11,249	14,578	0,190	2	2	3*	2
9	0,728	0,863	3,544	4,852	1,436	0,552	11,146	14,783	0,01	1	1	1	1
10	0,820	0,914	11,59	19,79	3,580	0,945	10,757	17,368	0,01	1	1	2*	1

La classification annonce les classificateurs SVM et Knn en tant que algorithmes appropriés à choisir à la place des classificateur Bayes Naïves.

Conclusion :

La synthèse bibliographique de quelques travaux antérieurs effectués dans le présent chapitre nous permet de comprendre d'une manière approfondie les mécanismes assez conduisant au contournement des isolateurs et l'application des méthodes de traitement de signal dans le domaine de la haute tension spécialement le phénomène de la pollution des isolateurs.

Enfin, les signaux constituent un outil très efficace et suffisant pour prédire le comportement de l'isolateur en service.